CFE

Comisión Federal de Electricidad

Proyecto Submarino con Tecnología HVDC

Red de Transmisión Asociada al Proyecto de Interconexión BCS-SIN en Corriente Directa ±320 kV.

Subdirección de Proyectos y Construcción

Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación

Gerencia Técnica



Comisión Federal de Electricidad

CONTENIDO

01 Antecedentes

02 Proyecto Red de Transmisión Asociada al Proyecto de Interconexión BCS-SIN en Corriente Directa ±320 kV.

03 Cables submarinos con tecnología HVDC en el mundo

04 Referencias de costos de Proyectos integrales (Subterráneos – Submarinos) con tecnología HVDC

05 Resumen de costos de Proyectos integrales

06 Principales fabricantes de cables submarinos HVDC

07 Análisis comparativo de la Gasificación BCS Vs Interconexión Eléctrica BCS-SIN

Comisión Federal de Electricidad

01. Antecedentes

Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

Conforme al Marco Regulatorio establecido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), donde el Estado, a través de la Secretaría de Energía (SENER), lleva a cabo las actividades de planeación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), considerando lo establecido en la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) y con base en los artículos 25 y 27 de la CPEUM y el articulo 11 de la LIE, la Secretaría de Energía esta facultada para dirigir el proceso de planeación y elaboración del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN).

El PRODESEN 2017-2031 esta alineado a; **i)** Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND), **ii)** Programa Sectorial de Energía 2013-2018 (PROSENER), **iii)** Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018 (PNI), **iv)** Programa Especial para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018 (PRONASE) y **v)** Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables 2014-2018 (PEAER) y su principal objetivo es garantizar la eficiencia, calidad, confiabilidad y seguridad del SEN, como alcance es la planeación del SEN e incorpora los aspectos relevantes de los programas de ampliación y modernización

Comisión Federal de Electricidad

02. Proyecto Red de Transmisión Asociada al Proyecto de Interconexión BCS-SIN en Corriente Directa ±320 kV.

Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

CFE
Comisión Federal de Electricidad

02 Proyecto Red de Transmisión Asociada al Proyecto de Interconexión BCS-SIN en Corriente Directa ±320 kV.

Proy.	Línea de Transmisión	Long. (km)	Características	Comentarios
CA	Seri – Esperanza	55	400 kV, 2C Torres de Acero (TA)	
CD	Esperanza – Bahía de Kino	55	±320 kV, Bipolo Torres de Acero (TA)	
CD	Bahía de Kino - Infiernito	110	±320 kV, Bipolo Cable Submarino	
CD	Infiernito - Mezquital	220	±320 kV, Bipolo Torres de Acero (TA)	
CD	Mezquital – Villa Constitución	350	±320 kV, Bipolo Torres de Acero (TA	
CA	Villa Constitución – Olas Altas	205	230 kV, 2C Torres de Acero (TA)	
	Total	995 km		



Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

Comisión Federal de Electricidad

02 Proyecto Red de Transmisión Asociada al Proyecto de Interconexión BCS-SIN en Corriente Directa ±320 kV.

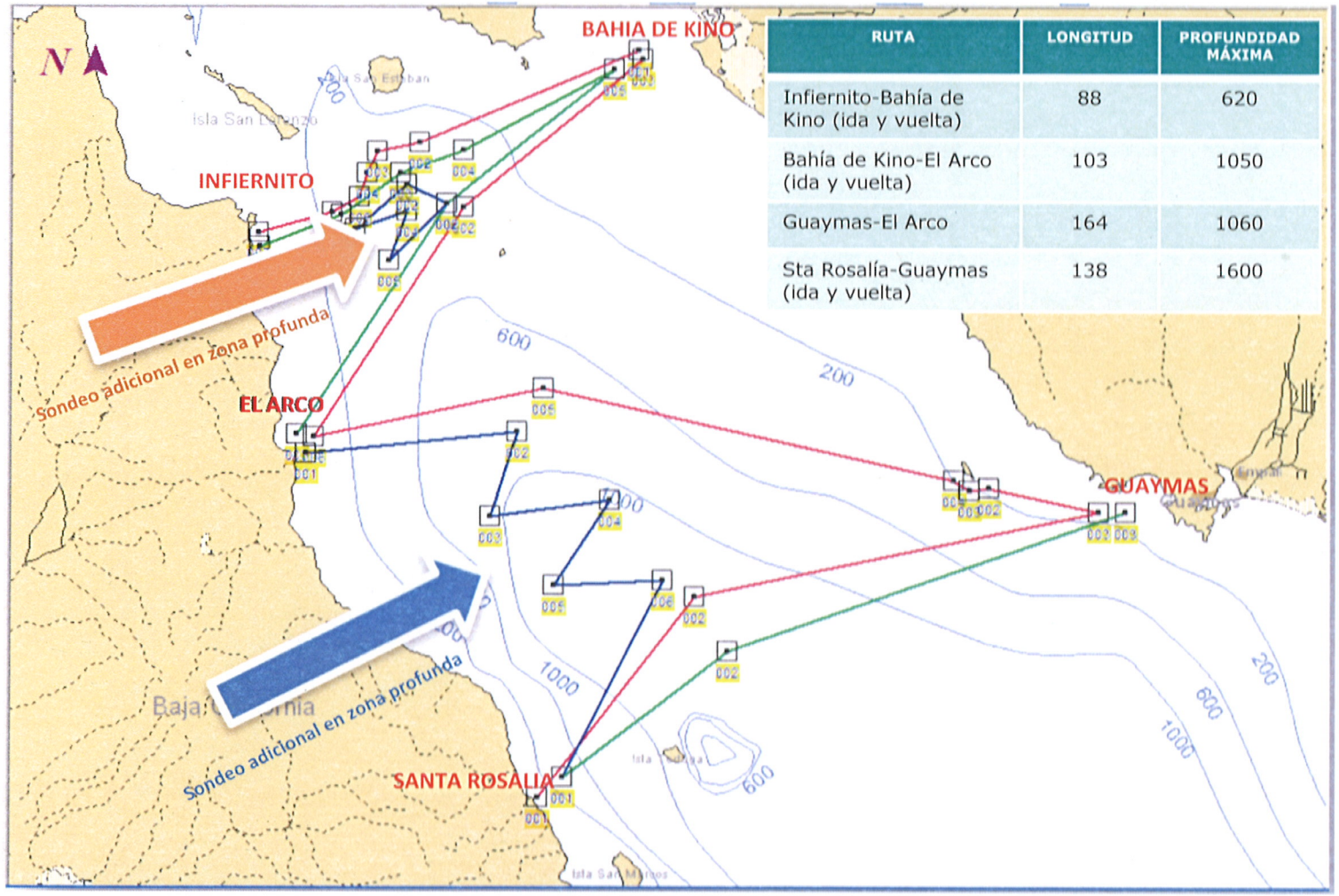
Trayectoria Propuesta conforme a PRODESEN



Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

Rutas analizadas por UNAM-IIE



RUTA	LONGITUD	PROFUNDIDAD MÁXIMA
Infiernito-Bahía de Kino (ida y vuelta)	88	620
Bahía de Kino-El Arco (ida y vuelta)	103	1050
Guaymas-El Arco	164	1060
Sta Rosalía-Guaymas (ida y vuelta)	138	1600

CFE
Comisión Federal de Electricidad

Alcance de los estudios a desarrollar en el tramo submarino

Núm.	Estudios	Alcance técnico
01	Batimétricos	-Perfil y Conformación del Lecho Marino.
02	Ambientales	-Flora y Fauna Marina Zona Costera -Flora y Fauna Marina Aguas Adentro
03	Análisis Físicos y Químicos del Agua	-Zona Costera y Aguas adentro: Temperatura, Salinidad, Mineralogía, Composición Biótica, Conductividad, Densidad.
04	Pesca	Estudios de impacto en la pesca
05	Sedimentos	Estudios de Sedimentos en zona costera y aguas adentro
06	Geofísica	Estudios Geofísicos
07	Geotécnica	Estudios geotécnicos: -Zona Costera -Aguas adentro -Análisis de suelo en laboratorio -Mecánica de rocas
08	Diseño de trayectoria de cable submarino	-Análisis de rutas para cable submarino -Selección de trayectoria factible para cable submarino
09	Protección de cable submarino	-Análisis de protección para cable submarino -Pruebas de campo en sito para protección del cable -Selección de protección para el cable
10	Sistema de cable submarino	Diseño del sistema de cables submarinos
11	Prospección Arqueológica	Identificación de vestigios y zonas potenciales

CFE
Comisión Federal de Electricidad

Alcance de los estudios a desarrollar en los tramos terrestres Aéreo y Subterráneo

Núm.	Estudio	Alcance técnico
01	Selección de Trayectorias	Tramos terrestres aéreo y subterráneo
02	Topografía	Levantamientos Topográficos
03	Geotecnia	Estudios geotécnicos
04	Georradar	Censo de instalaciones subterráneas
05	Resistividad Térmica	Dispersión térmica del suelo
06	Ambientales Y Forestales	-Manifestación de Impacto Ambiental -Estudio Técnico Justificativo de Aprovechamiento Forestal
07	Prospección Arqueológica	Identificación de vestigios y zonas potenciales
08	Resistividad eléctrica del terreno	Resistividades del terreno a lo largo de la trayectoria
09	Estudios para el sistema HVDC	Estudios para la determinación de un electrodo de tierra para el sistema en HVDC, dentro de un radio de al menos 20 km donde estarán ubicadas las estaciones convertidoras para obtener las condiciones naturales aspectos de: Forma de relieve y terreno, Exploraciones geológicas y geofísicas, Condiciones hidrológicas y meteorológicas, Mapa topográfico, Instalaciones eléctricas de la zona, Resistividad de la capa profunda de suelo, Capacidad térmica del terreno, Conductividad térmica del terreno, Temperatura natural máxima del terreno, Humedad y estudio de aguas subterráneas, Características químicas del suelo, Impacto ambiental en la región y dependiendo del tipo configuración del electrodo por utilizar

CFE
Comisión Federal de Electricidad

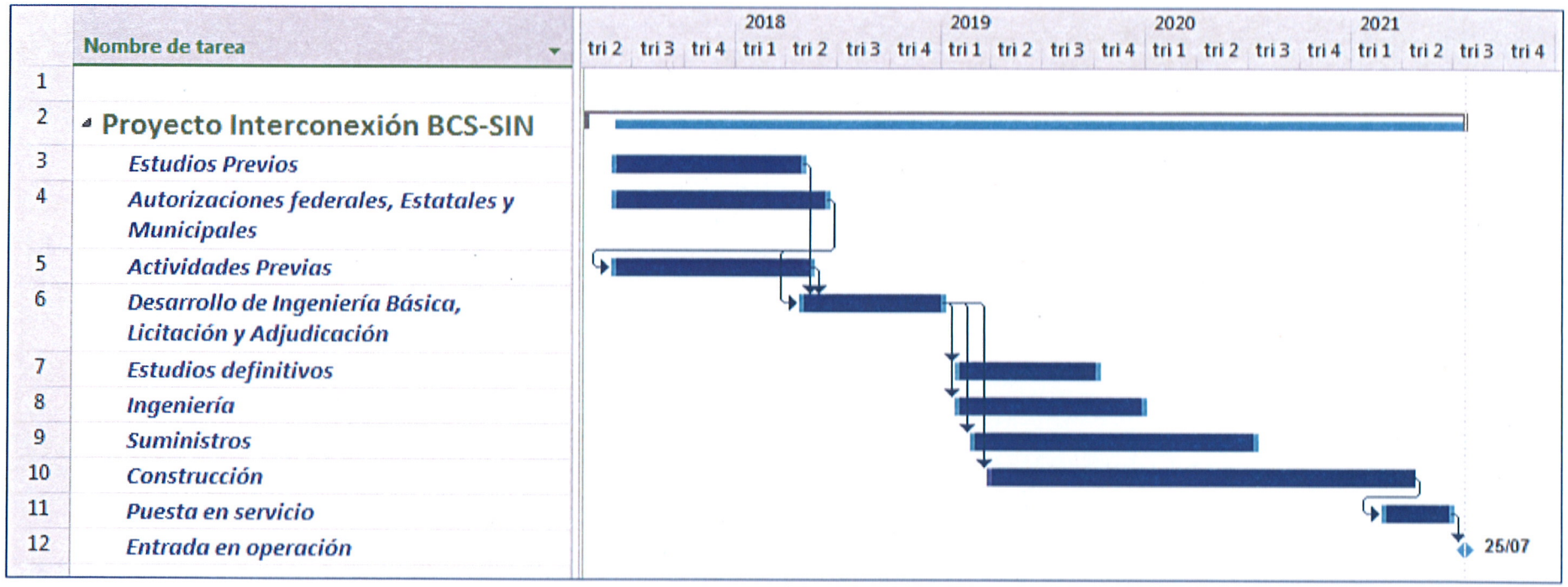
Autorizaciones a considerar en el Proyecto

Núm.	Autorizaciones Federales, Estatales y Municipales.	Alcance
01	Autorización en Materia de Impacto Ambiental. SEMARNAT	-Tramos aéreos -Tramos marinos
02	Autorización de Cambio de Utilización de Terrenos Forestales. SEMARNAT	Sólo en tramos terrestres
03	Autorización INAPESCA/SAGARPA	Permisos de Construcción e instalación de materiales permanentes en zonas de pesca.
04	Autorización SCT	Permisos de navegación en aguas nacionales.
05	Autorización SCT Coordinación General de Puertos y Marina Mercante	Permisos de navegación en aguas nacionales.
06	Permisos en zona marina	Lo establecido en el Reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar.
07	Licencias de Construcción	Municipales y Estatales.
08	Autorización en Materia Arqueológica	Anuencias del INAH

CFE
Comisión Federal de Electricidad

Programa general de ejecución del Proyecto

La interconexión entre los sistemas de BCS al SIN se tiene programada para abril de 2021



Duración del Proyecto: 42 Meses (3.5 años)

Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

Comisión Federal de Electricidad

03. Cables submarinos con tecnología HVDC en el mundo

Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

Comisión Federal de Electricidad

03. Cables submarinos con tecnología HVDC en el mundo

	Cable name	Countries linked or involved	Body of water	Power (MW)	Voltage (kV)	Submarine length (km)	Commissioning year	Configuration
Europe								
1	NorNed	Norway, Netherlands	North Sea	700	450	580	2007	bipolar
2	SAPEI	Italy	Tyrrhenian Sea	1000	500	420	2012	bipolar
3	SACOI	Italy, France	Tyrrhenian Sea	300	200	121	1968	monopolar
4	HVDC Italy-Greece (Grita)	Italy, Greece	Ionian Sea	500	400	160	2001	monopolar
5	East-West Interconnector	UK, Ireland	Irish Sea	500	200	186	2012	symmetrical monopole
6	BritNed	UK, Netherlands	North Sea	1000	450	240	2011	bipolar
7	SwePol	Sweden, Poland	Baltic Sea	600	450	239	2000	monopolar
8	Baltic Link	Sweden, Germany	Baltic Sea	600	450	231	1994	monopolar
9	Skagerrak I	Denmark, Norway	Baltic Sea	250	250	127	1977	monopolar
10	Skagerrak II	Denmark, Norway	Baltic Sea	250	250	127	1977	monopolar
11	Skagerrak III	Denmark, Norway	Baltic Sea	440	350	127	1993	monopolar
12	Skagerrak IV	Denmark, Norway	Baltic Sea	700	500	137	2014	monopolar
13	Cometa HVDC	Spain	Mediterranean Sea	400	250	244	2012	bipolar
14	Fennoskan 1	Sweden, Finland	Gulf of Bothnia	500	400	200	1989	bipolar
15	Fennoskan 2	Sweden, Finland	Gulf of Bothnia	800	500	200	2011	bipolar
16	EstLink 1	Estonia, Finland	Gulf of Finland	350	150	74	2006	bipolar
17	EstLink 2	Estonia, Finland	Gulf of Finland	650	450	145	2014	monopolar
18	Kontek	Germany, Denmark	Baltic Sea	600	400	52	1995	monopolar
19	Gotland I	Sweden	Baltic Sea	30	150	98	1954	monopolar
20	Gotland II	Sweden	Baltic Sea	130	150	92	1983	monopolar
21	Gotland III	Sweden	Baltic Sea	130	150	92	1987	monopolar
22	HVDC Cross-Channel	France, UK	English Channel	2000	270	46	1986	bipolar
23	HVDC Moyle	UK	Irish Sea	500	250	55	2001	monopolar
24	Storebælt	Denmark	Baltic Sea	600	400	32	2010	monopolar
25	Kontiskan 1	Denmark, Sweden	Kattegatt Strait	250	285	21	1965	bipolar

03. Cables submarinos con tecnología HVDC en el mundo

	Cable name	Countries linked or involved	Body of water	Power (MW)	Voltage (kV)	Submarine length (km)	Commissioning year	Configuration
26	Kontiskan 2	Denmark, Sweden	Kattegatt Strait	300	285	21	1988	bipolar
America								
27	Neptune Cable	US	Lower Bay	660	500	80	2007	bipolar
28	Trans Bay Cable LLC	US	San Francisco Bay	400	200	85	2010	bipolar
29	Vancouver Island Pole 1	Canada	Strait of Georgia	312	260	33	1968	bipolar
30	Vancouver Island Pole 2	Canada	Strait of Georgia	370	280	33	1977	bipolar
31	Cross Sound Cable	US	Long Island Sound	330	150	39	2005	bipolar
Asia								
23	HVDC Leyte - Luzon	Philippines	San Bernardino Strait	440	350	21	1988	monopolar
33	HVDC Hokkaidō–Honshū	Japan	Tsugaru Strait	300	250	44	1979	monopolar
34	Kii Channel HVDC system	Japan	Kii Channel	1400	250	50	2000	bipolar
Australia-Oceania								
35	HVDC Inter-Island	New Zealand	Cook Strait	1200	350	40	1965	bipolar
36	Basslink	Australia	Bass Strait	500	400	290	2006	monopolar

List of main planned submarine power cables in the World

	Cable name	Countries linked or involved	Body of water	Power (MW)	Voltage (kV)	Submarine length (km)	Commissioning year	Configuration
Europe								
1	Ice Link	Iceland, UK		1200	N/A	1170	2022	N/A
2	NorGer	Norway, Germany	North Sea	1400	450	630	N/A	bipolar
3	NSN Link	UK, Norway	North Sea	1400	N/A	711	2021	bipolar
4	NorthConnect	Scotland, Norway	North Sea	1400	500	650	2025	N/A
5	Nord.Link	Norway, Germany		1400	525	500	2020	N/A
6	NordBalt HVDC	Sweden, Lithuania	Baltic Sea	700	400	400	2015	N/A
7	UK Western Link	UK	North Channel	2200	600	385	2016	bipolar
8	Interconnexion France-Angleterre (IFA 2)	France, UK	English Channel	1000	N/A	208	2020	N/A
9	Nemo Link	Belgium, UK	English Channel	1000	400	130	2019	N/A

03. Cables submarinos con tecnología HVDC en el mundo

Country	Year	Capability MW	Length, km	Voltage, kV
First submarine HVDC Cable installed				
Sweden (Gotland - Vastervick)	1954	30	98	150
Highest capacity HVDC installed				
Japan (Shikoku - Honshu)	2000	1,400	50	250
Longest HVDC cable installed				
Norway - Holland	2008	700	580	450
Europe Asia Interconnector				
Greece - Cyprus - Israel	2016	2,000	1,000	500*

Europe - Asia Energy Bridge

Submarine Electric Cable Connection

Between

Greece - Cyprus - Israel



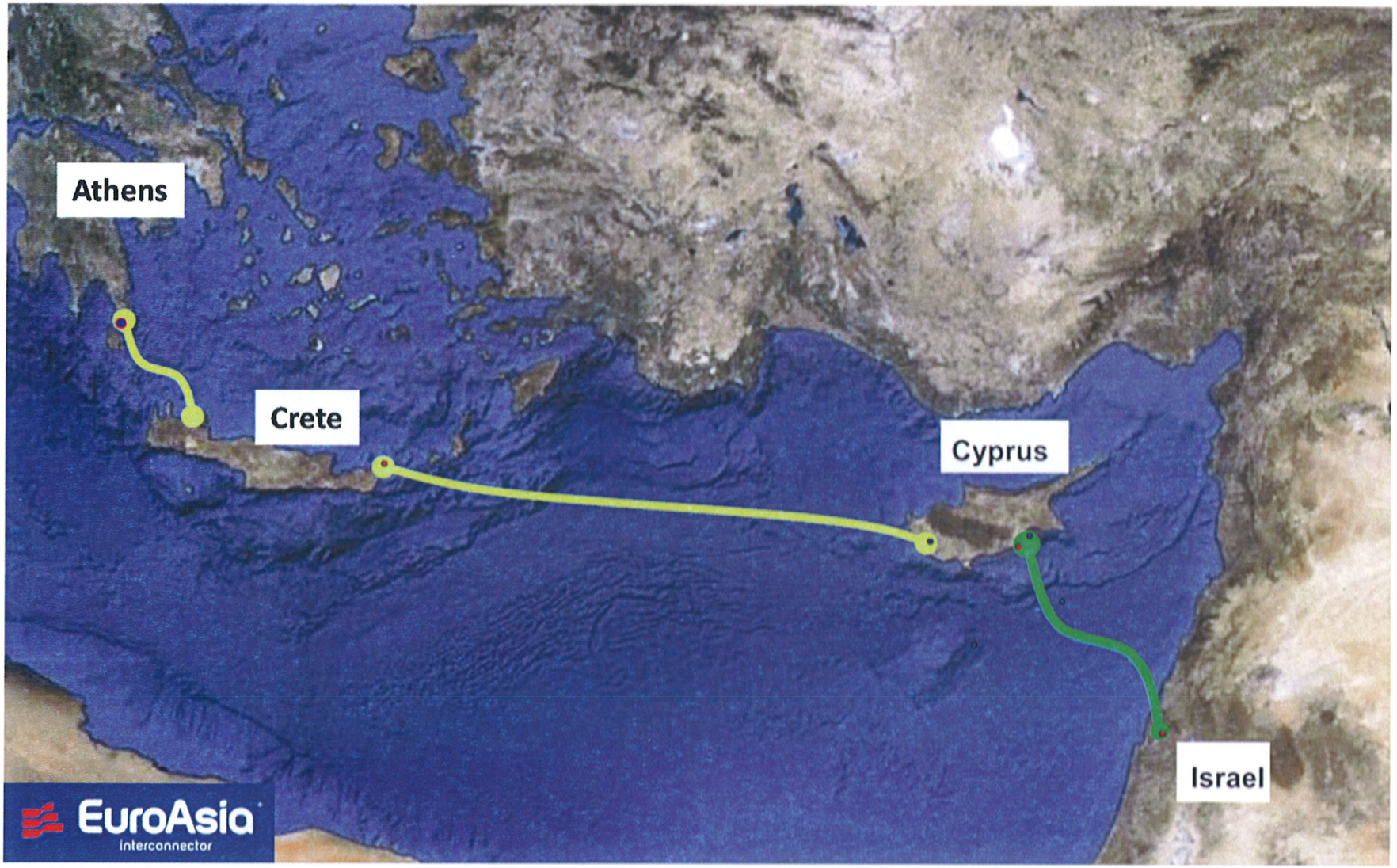




EuroAsia interconnector

CFE
Comisión Federal de Electricidad

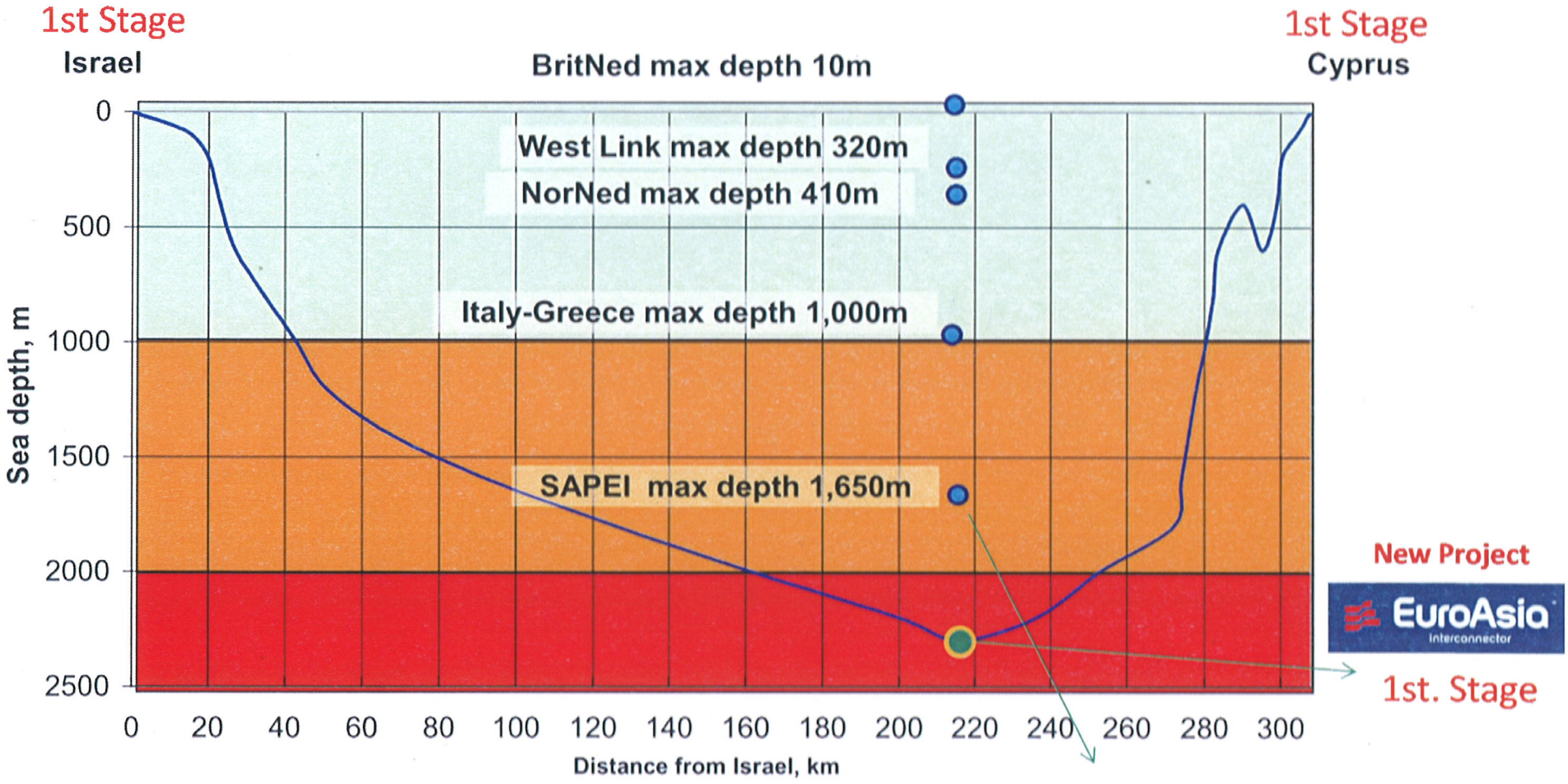
03. Cables submarinos con tecnología HVDC en el mundo



Mayo de 2017

CFE
Comisión Federal de Electricidad

03. Cables submarinos con tecnología HVDC en el mundo

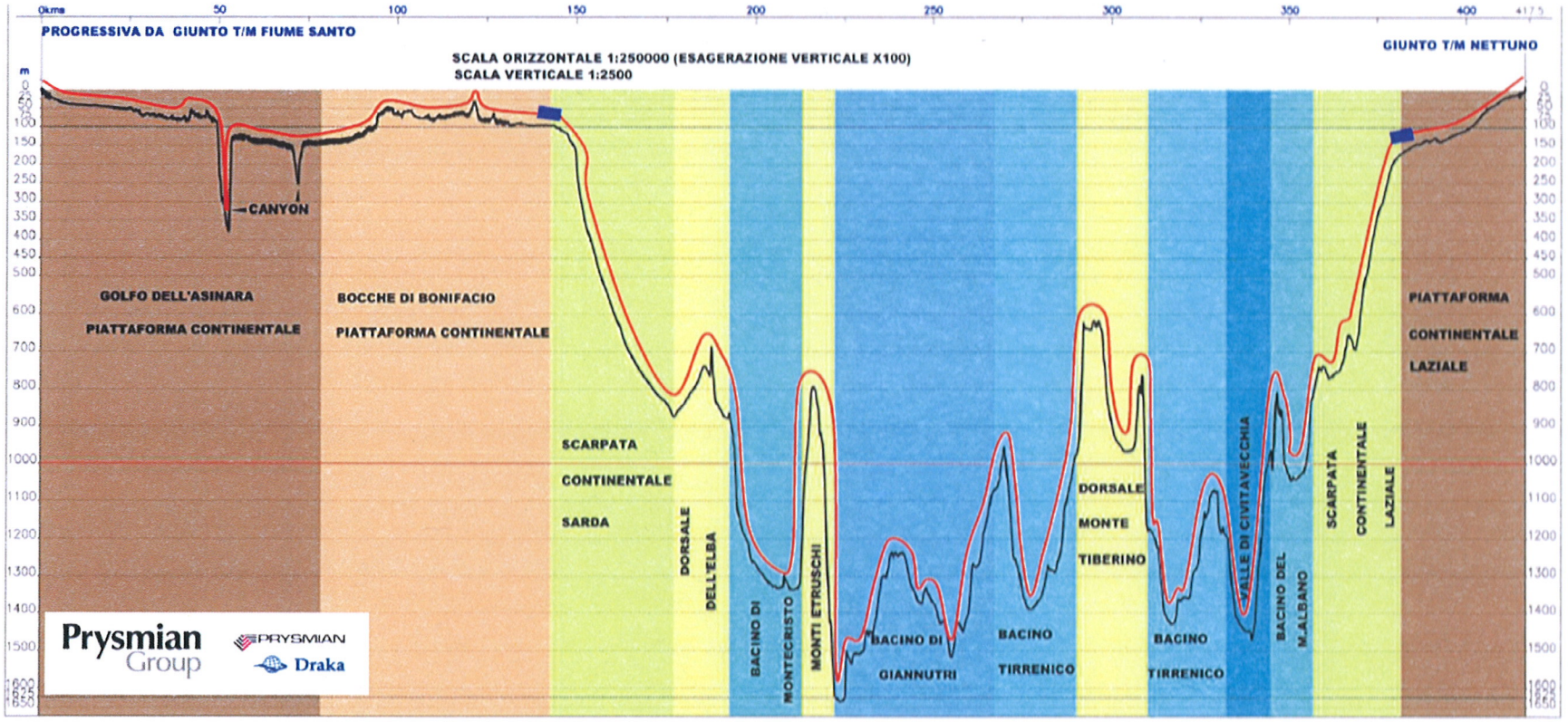


Sardinia Island – Italian Peninsula (SAPEI)
±500 kV 1000 MW HVDC link

SAPEI - sea cable profile

Sardinia Island – Italian Peninsula (SAPEI)

±500 kV 1000 MW HVDC link



03. Cables submarinos con tecnología HVDC en el mundo

Conductor cross section (mm^2)	1150
Conductor diameter (mm)	38.3
Outer cable diameter (mm)	119.2
Max electrical stress@500kV d.c. (kV/mm)	30.8
Weight of cable in air (N/m)	361
Weight of cable in water (N/m)	254
Max pulling force for installation (kN)	530
Min bending radius for installation (m)	3



Main dimensions and construction details for 500 kV d.c. deep water cable

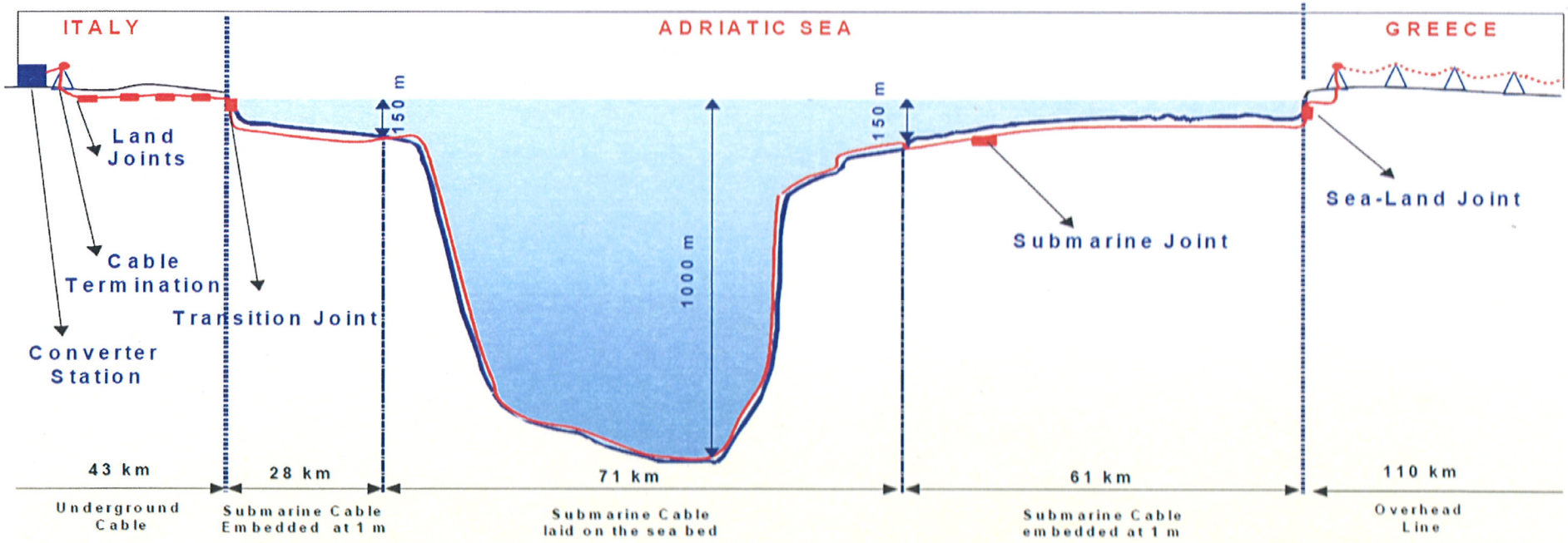
HVDC Cable System Mass impregnated (MI)

Prysmian Group

PRYSMIAN Draka

Sardinia Island – Italian Peninsula (SAPEI)
±500 kV 1000 MW HVDC link

The transmission link is based on a mono-polar scheme with sea return with a rated power and voltage respectively of 500MW and 400kVdc.

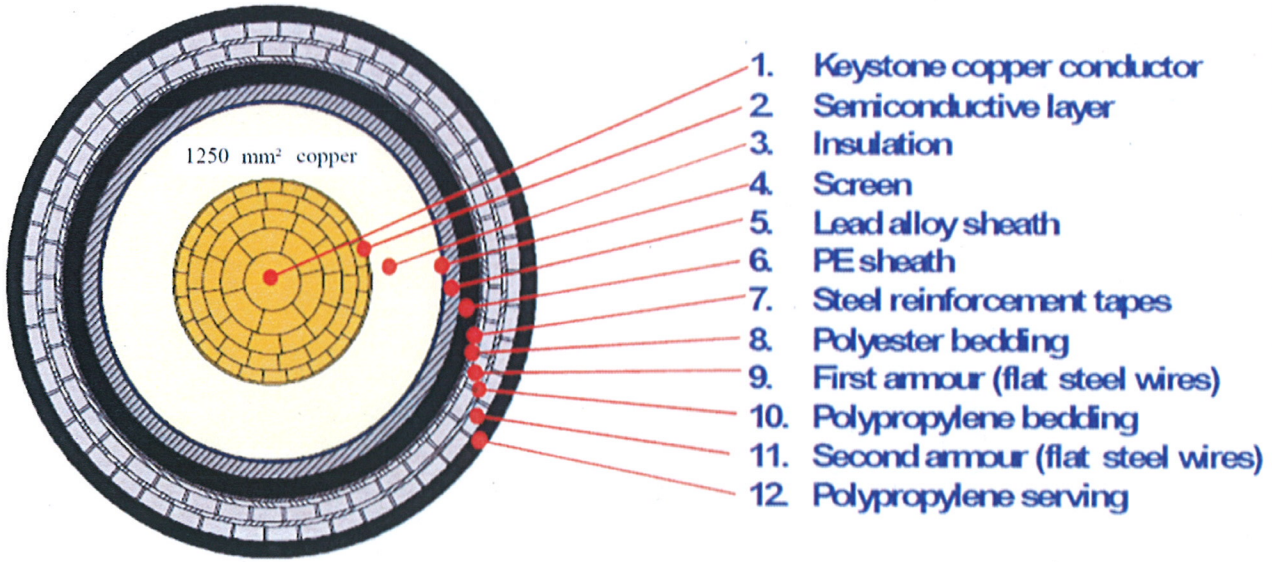


THE ITALY-GREECE HVDC LINK *The schematic bathymetric profile.*

Prysmian Group PRYSMIAN Draka

THE ITALY-GREECE HVDC LINK

Prysmian Group



Submarine cable cross-sectional drawing.

HVDC Cable System Mass impregnated (MI)

Comisión Federal de Electricidad

04. Referencias de costos de Proyectos integrales (Subterráneos – Submarinos) con tecnología HVDC

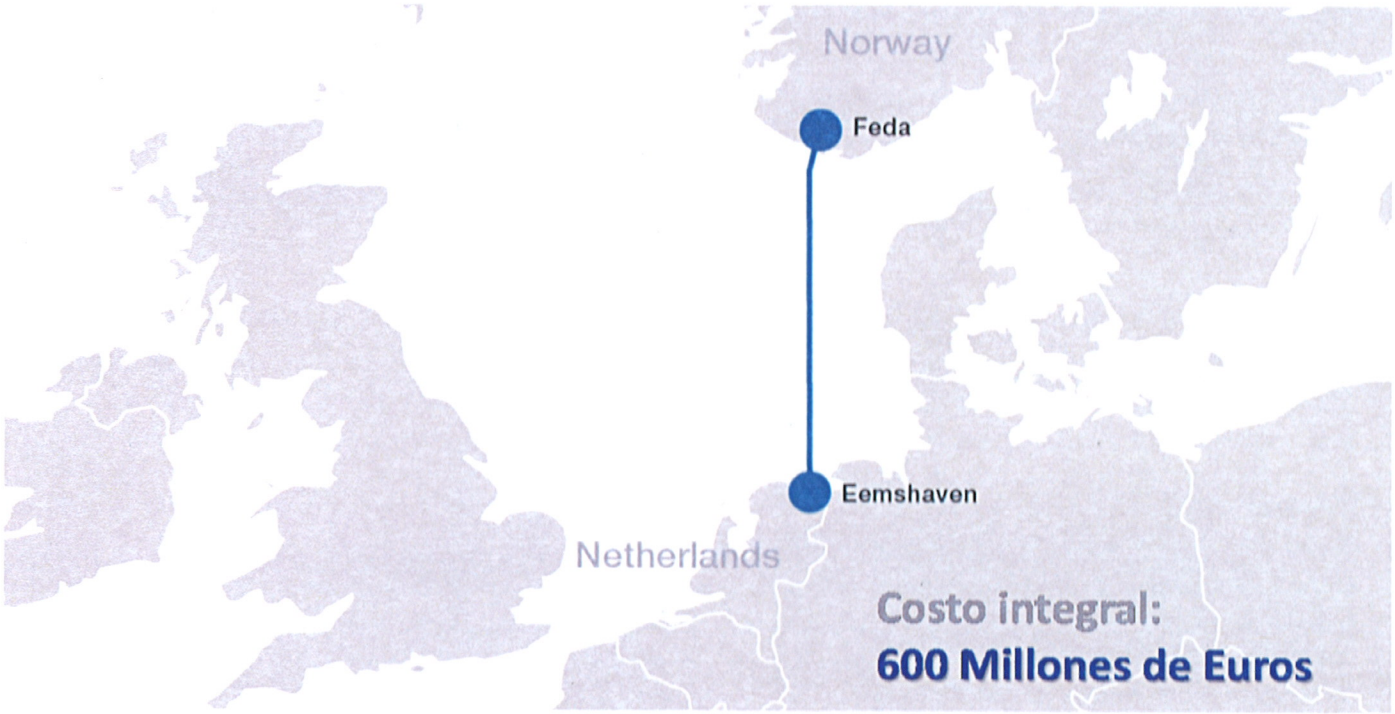
Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

04. Referencias de costos de Proyectos integrales (Subterráneos – Submarinos) con tecnología HVDC

Power and productivity for a better world™ ABB

Prysmian Group PRYSMIAN Draka

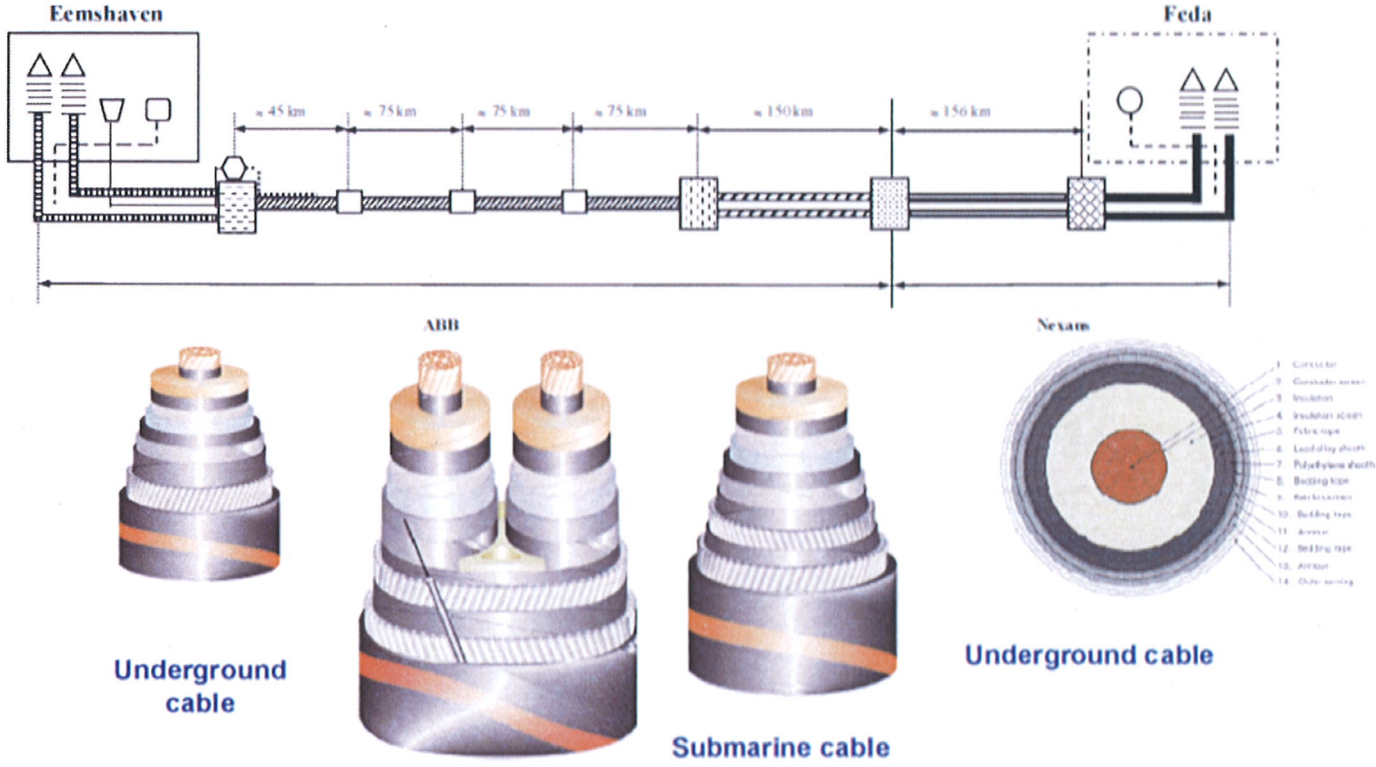


- power to be transmitted: 700 MW continuous (measured at receiving end)
- the given voltage level: ± 450 kV

NorNed is proving that power transmission over 580 km distance is feasible and without causing unacceptable power loss. The NorNed transmission loss at full load 700 MW (receiving end) is 4.2% only.

1) NorNed – World´s longest power cable

04. Referencias de costos de Proyectos integrales (Subterráneos – Submarinos) con tecnología HVDC



Cable types

Although classed as a "bipolar" HVDC scheme, the NorNed scheme is unusual for a Line-Commutated (thyristor-based) HVDC scheme Commercial operation started on 5 May 2008 with a capacity auction. The first commercial power transfer took place on 6 May 2008.

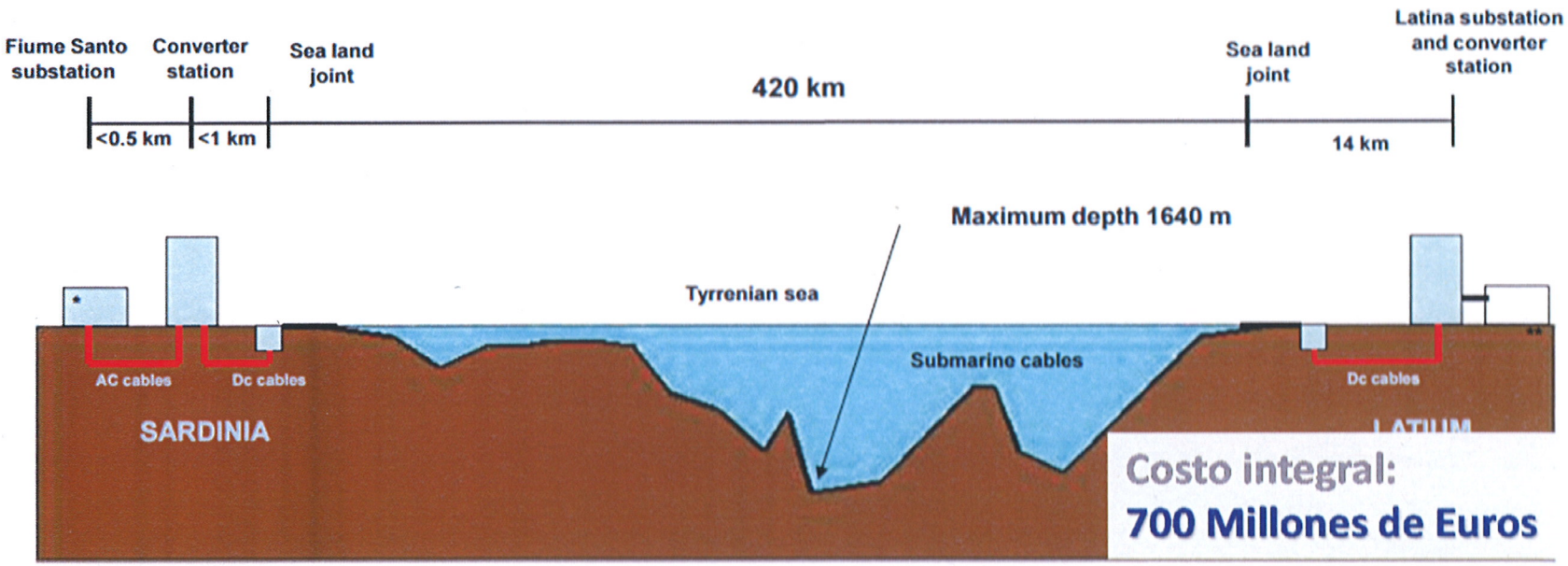
The cable had a fault in 2011, causing 7 weeks out of operation.

1) NorNed – World´s longest power cable

04. Referencias de costos de Proyectos integrales (Subterráneos – Submarinos) con tecnología HVDC

Power and productivity for a better world™ ABB

Prysmian Group PRYSMIAN Draka



* GIS substation

Municipality involved:
Sassari, Porto Torres,
Castelsardo (anode punta Tramontana)

** in air substation

Municipality involved:
Nettuno (Rm), Latina

It has two poles, having a total capacity of 1,000 megawatt at 500 kV of voltage.

The cable was inaugurated on 17 March 2011.

2) SAPEI ±500 kVdc-1000 MW Interconnection Sardinia – Italian Peninsula

Comisión Federal de Electricidad

05. Resumen de Costos integrales de Proyectos Submarinos y subterráneos con tecnología HVDC

Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

CFE
Comisión Federal de Electricidad

05. Resumen de costos integrales de Proyectos Submarinos y Subterráneos con tecnología HVDC

Proyecto	Longitud (km)	Costo integral (€ Euro)	Costo escalado a 2017 (€ Euro)	Costo 2017 (MX)
2008 - NorNed – World´s longest power cable, ±450 kV, 700 MW.	Submarino: 580.00	€ 600,000,000.00	€ 817,947,257.66	$17,188,507,261.90
2011- SAPEI +-500 kVdc-1000 MW Interconnection Sardinia – Italian Peninsula	Subterráneo: 15.50 Submarino: 420.00	€ 700,000,000.00	€ 925,476,516.73	$19,448,148,617.96

Historial de Euro y Peso Mexicano

Moneda / Año	2008	2011	2017
Euro	16.1085 MX	16.6097 MX	21.0142 MX

Comisión Federal de Electricidad

06. Principales fabricantes de cables submarinos HVDC

Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

Principales fabricantes de cables submarinos para HVDC con capacidades en cuanto a nivel de tensión eléctrica

Fabricante	Capacidad	Descripción
Prysmian	± 700 kV	Mass impregnated (MI): HVDC cable systems with a capacity of up to ±700 kV Extruded: HVDC cable systems with a capacity of up to ±600 kV
Nexans	± 600 kV	Mass impregnated (MI): HVDC cable systems with a capacity of up to ±600 kV Extruded: HVDC cable systems with a capacity of up to ±320 kV
ABB	± 525 kV	Mass impregnated (MI): HVDC cable systems with a capacity of up to ±525 kV Extruded: HVDC Light® cable systems with a capacity of up to ±345 and ±420 kV (±525 kV)
LS Cable	± 500 kV	Mass impregnated (MI): HVDC cable systems with a capacity of up to ±500 kV Extruded: HVDC cable systems with a capacity of up to ±320 kV

NOTA: Los cables en aceite circulante representan un impacto importante al medio ambiente y considerando las restricciones ambientales establecidas en Golfo de Baja California, no se recomienda considerar este tipo de tecnología.

Los cables impregnados en masa fueron diseños desde 1985. Actualmente son los más utilizados; sin embargo, una nueva generación de cables extruidos están ganando terreno

Comisión Federal de Electricidad

07. Análisis comparativo de la Gasificación BCS Vs tramo submarino del Proyecto "Interconexión Eléctrica BCS-SIN".

NOTA: Información proporcionada por la Subdirección de Programación.

Mayo de 2017

Subdirección de Proyectos y Construcción
Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación
Gerencia Técnica

Casos analizados

A. Caso Base del SIN con plan de expansión definido y sin interconexión con el sistema BCS.

B. Caso Base del sistema BCS con proyecto de gasificación para 2020, con plan de expansión definido, y sin interconexión con el SIN.

C. Caso Base del sistema BCS sin proyecto de gasificación, con plan de expansión definido a base de tecnologías de combustión interna y turbogas.

D. Caso Base de la interconexión del SIN con el sistema BCS en 2021, sin proyecto de gasificación en BCS y sin plan de expansión definido en BCS.

Comentarios finales

A. La gasificación de BCS se realiza en enero de 2020.

B. La inversión del proyecto de transporte de gas a BCS se estimó en 969.11 MDD a valor presente de 2017.

C. La interconexión entre los sistemas de BCS al SIN se realiza en abril de 2021.

D. Se estima la inversión del **tramo submarino** en el Proyecto de Interconexión BCS-Sin se estima un 13% menos que el Proyecto de Gasificación BCS. (Incluye inversión física y modernización)



Gracias por su atención

CFE

Comisión Federal de Electricidad